

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 6 月 23 日 (23.06.2005)

PCT

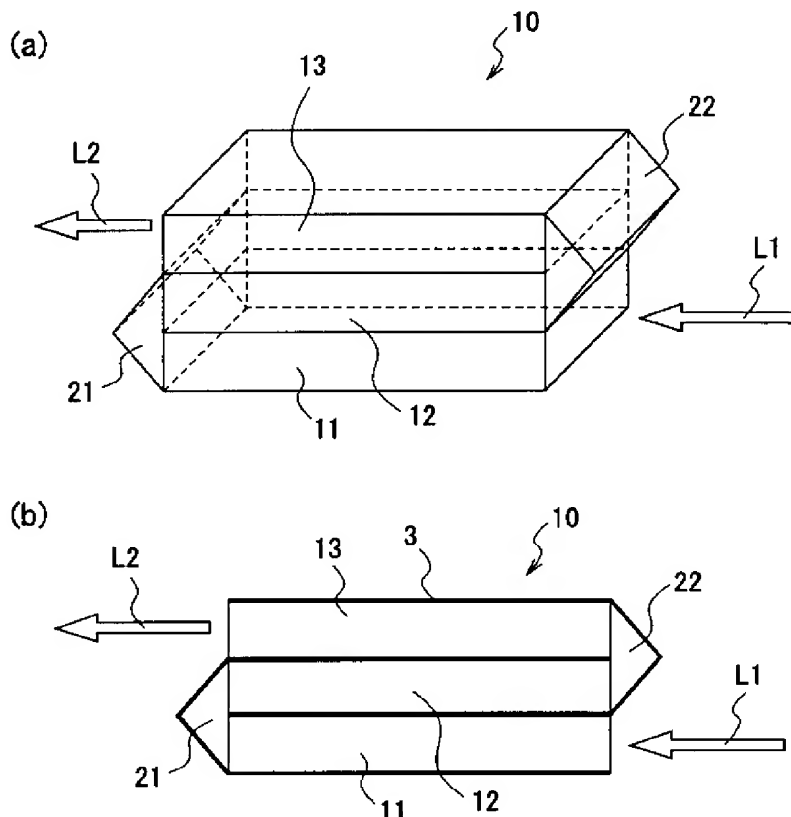
(10) 国際公開番号
WO 2005/057271 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 27/00, G03B 21/14 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/018361 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 杉田 知也 (SUGITA, Tomoya). 水内 公典 (MIZUUCHI, Kiminori). 笠澄 研一 (KASAZUMI, Ken'ichi). 森川 顕洋 (MORIKAWA, Akihiro).
(22) 国際出願日: 2004 年 12 月 9 日 (09.12.2004) (74) 代理人: 早瀬 憲一 (HAYASE, Kenichi); 〒5320003 大阪府大阪市淀川区宮原 3 丁目 4 番 30 号 ニッセイ新大阪ビル 13 階 早瀬特許事務所 Osaka (JP).
(25) 国際出願の言語: 日本語 (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願 2003-411442 2003 年 12 月 10 日 (10.12.2003) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真 1006 番地 Osaka (JP).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL ELEMENT, LASER BEAM SOURCE, AND 2-D IMAGE FORMING DEVICE

(54) 発明の名称: 光学素子、レーザ光源、及び 2 次元画像形成装置



(57) Abstract: An optical element (10) comprising a plurality of waveguides (11)-(13) and a plurality of optical coupling units (21), (22) that couple adjacent waveguides so as to optically couple the waveguides in series, wherein the routes of laser beams propagating through the plurality of waveguides are bent at the optical coupling units. Accordingly, the optical element that converts an incident light into an output light having a uniform sectional light intensity distribution can be made more compact, and a laser beam source using the optical element or a 2-D image forming device using the laser beam source can also be made compact.

(57) 要約: 本発明の光学素子 (10) は、複数の導波管 (11) ~ (13) と、該複数の導波管を直列に光学的に結合するよう、隣接する導波管を結合する複数の光路結合部 (21), (22) とを備え、前記複数の導波管内を伝搬するレーザ光の経路が、前記光路結合部で折れ曲がっているものである。これにより、入射光を均

一な断面光強度分布を有する出射光に変換する光学素子をよりコンパクトにすることができ、さらに該光学素子を用いたレーザ光源、あるいは該レーザ光源を用いた 2 次元画像形成装置もコンパクトすることが可能となる。



SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光学素子、レーザ光源、及び2次元画像形成装置

技術分野

- [0001] 本発明は、光学素子、レーザ光源、及び2次元画像形成装置に関し、特に、入射光を均一な出射光強度分布を有する出射光に変換する光学素子、該光学素子を用いたレーザ光源、及び該レーザ光源を用いた2次元画像形成装置に関するものである。

背景技術

- [0002] これまで、レーザ光源の用途は計測、光通信、光ディスク等、レーザ光の集光特性やコヒーレンスの高さを利用したものが主流であった。しかし、レーザ光源の研究・開発は目覚ましく、半導体レーザに代表される小型高出力レーザも実用化が進んでおり、出力波長は限定されるものの、半導体レーザでは例えばマルチモード半導体レーザで数Wクラスの出力を達成しているものもある。
- [0003] このようなレーザ光源の小型化・高出力化に伴って、小型で、且つ高出力のレーザ光源を用いたアプリケーションの開拓や装置の開発が活発化してきている。
- [0004] 高出力光源は、画像表示装置、照明装置、半導体露光装置など、幅広い用途への応用が期待されており、特に高出力レーザ光源は、その単色性を生かして、例えばRGB三原色の高出力レーザを用いたレーザディスプレイによる高色純度鮮明画像の実現が模索されている。また、小型で、且つ高出力のレーザ光源を、低消費電力且つ長寿命な照明用光源に応用することも期待されている。さらに、前記高出力レーザ光源は、レーザ加工にも応用されており、該高出力のレーザによる微細形状加工が実用化されつつある。
- [0005] このような高出力レーザ光源を用いたアプリケーションは、レーザ光の単色特性と高出力特性を利用するのに加えて、均一な断面強度分布に対する要求が大きく、従来から、この要求を満たす手法があった。
- [0006] 例えば、特許文献1及び特許文献2には、ホモジナイザと呼ばれる光量均一化デバイスや光学系を用いて、ガウシアン光強度分布を有するレーザ光源からの出力光を

、その光強度分布が均一になるよう成形するものが開示されている。また、特許文献3及び特許文献4には、インテグレータと呼ばれる光学デバイスを用いて、上記と同様にレーザ光源からの出力光を成形するものが開示されている。

特許文献1:特開平07-306304号公報

特許文献2:特許第3410813号公報

特許文献3:特開2002-40327号公報

特許文献4:特開2003-57514号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0007] しかしながら、従来の特許文献1〜3に示す方法では、レーザ光源からの出力光を光学デバイスや光学系に入射する前にその断面積を適当に拡げておく必要があるため、レーザ光源を含む光学系が複雑化し、装置面積が大規模になるという課題があった。さらに、レーザ光源からの出力光の断面積を広げてから光学デバイスに入射する場合、該出力光のビームの外周部を切り取ることになるため、光量の損失が生じるという課題もあった。
- [0008] さらに、特許文献4に示す方法では、前記出力光の断面積を広げる必要はないが、該レーザ光源からの出力光の光強度を均一化して出力するためには、ロッドインテグレータの光伝搬方向の長さを長くする必要があり、このような光の伝搬方向に長いロッドインテグレータを用いると、装置面積が大きくなるという課題があった。
- [0009] また、光源として干渉性の高いレーザ光源を用いた場合、前述したような光量を均一化する光学デバイスから出射される光は、スペックルノイズと呼ばれるレーザ光特有の微細な干渉パターンによる微細なムラ状のノイズを発生する。このスペックルノイズを除去する方法として、これまでにスクリーンを振動させる方法や、拡散板を透過させてレーザ光に時空間的にランダムな位相を与える方法が採られてきた。しかしながら、スクリーンを振動させる方法ではスクリーンが固定できないという課題があり、また拡散板等を用いる方法では画像投影に用いられる光量が低下すると同時に、装置面積が大きくなってしまいう課題があった。
- [0010] 本発明は、前記課題を解決するためになされたものであり、入射光を均一な出射光

強度分布を有する出射光に変換するコンパクトな光学素子、該光学素子を用いたレーザ光源、及び該レーザ光源を用いた2次元画像形成装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0011] 前記課題を解決するために、本発明の請求項1に記載の光学素子は、光を伝搬する複数の導波管と、前記複数の導波管を直列に光学的に結合するよう、隣接する導波管を結合する複数の光路結合部とを具備し、前記複数の導波管内を伝搬する光の経路は、前記光路結合部の少なくとも一つにおいて折れ曲がっているものである。
- [0012] これにより、非常にコンパクトな光学素子により、入射されたレーザ光を均一な断面光強度分布を有する出射光に変換できる。
- [0013] また、本発明の請求項2に記載の光学素子は、請求項1に記載の光学素子において、前記複数の導波管として奇数個の導波管を用い、前記奇数個の導波管は、各導波管の光の伝搬方向に対して平行に重ねて配置されているものである。
- [0014] これにより、光学素子への入射光進行方向と光学素子からの出射光進行方向とを同一方向にすることができ、当該光学素子を搭載する装置構造を単純にできる。
- [0015] また、本発明の請求項3に記載の光学素子は、請求項1に記載の光学素子において、前記導波管及び光路結合部からなる導波路の、光入射面及び光出射面以外の外表面が、伝搬する光を反射する反射膜によりコートされている。
- [0016] これにより、導波管内に入射された光を効率よく反射させて、伝搬することが可能となる。
- [0017] また、本発明の請求項4に記載の光学素子は、請求項1に記載の光学素子において、前記光路結合部は、前記隣接する導波管の一方あるいは双方の端面に、光伝搬方向と垂直な平面に対して傾斜した傾斜面を、前記導波管と一体に形成してなるものである。
- これにより、光路結合部としての部品を削減できる。
- [0018] また、本発明の請求項5に記載の光学素子は、請求項1に記載の光学素子において、前記導波管は、中空構造を有し、該導波管の中空部分に、気体または液体のいずれかとブラウン粒子とを封入したものである。
- これにより、干渉性の高いレーザ光源において発生するスペックルノイズを低減で

きる。

[0019] また、本発明の請求項6に記載の光学素子は、請求項5に記載の光学素子において、前記ブラウン粒子がコロイド粒子であるものである。

これにより、導波管に入射された光の位相を適切に錯乱させることが可能となる。

[0020] また、本発明の請求項7に記載の光学素子は、請求項1に記載の光学素子において、前記導波管の光入射面から光出射面までの、光伝搬経路に沿った距離Lは、以下の関係式(1)を満たすものである。

$$[0021] \quad L \geq W / \tan(\sin^{-1}(\sin(\theta/2)/n)) \cdots (1)$$

W:前記導波管の幅

n:前記導波管内部の屈折率

θ :前記半導体レーザの有する最小のビーム広がり角

[0022] これにより、入射されたレーザ光を均一な断面光強度分布を有する出射光に変換できる光学素子を必要最小限の大きさにすることが可能となる。

[0023] また、本発明の請求項8に記載のレーザ光源は、半導体レーザと、該半導体レーザから出射されたレーザ光を伝搬して出射する光学素子とを具備するレーザ光源において、前記光学素子は、光を伝搬する複数の導波管と、前記複数の導波管を直列に光学的に結合するよう、隣接する導波管を結合する複数の光路結合部とを具備し、前記複数の導波管内を伝搬する光の経路は、前記光路結合部において折れ曲がっているものである。

[0024] これにより、均一な断面光強度分布を有する出射光を出力する、非常にコンパクトなレーザ光源を提供できる。

[0025] また、本発明の請求項9に記載のレーザ光源は、請求項8に記載のレーザ光源において、前記半導体レーザと前記光学素子との間の光路上に配置され、前記光学素子に入射するレーザ光の広がり角を、前記半導体レーザから出射されるレーザ光の広がり角より小さくする凸レンズ、もしくは平凸レンズを具備するものである。

[0026] これにより、光学素子からの出射光広がり角を任意の角度に変換可能な断面光強度均一化光源が実現できる。この結果、光学素子からの出射光広がり角を小さくすることが可能となるため、当該レーザ光源から出射される出射光を扱いやすいものにす

ることができる。

- [0027] また、本発明の請求項10に記載のレーザ光源は、請求項8に記載のレーザ光源において、前記半導体レーザと前記光学素子との間の光路上にシリンダリカルレンズを配置するものである。
- [0028] これにより、半導体レーザから出射される楕円形状を有するビーム光を円形状のビーム光に変え、扱いやすいビーム形状に変形することができる。また、例えば各導波管の断面形状を任意のアスペクト比を有する矩形に設計した場合にも、前記シリンダリカルレンズの曲率を選択して、効率よく短い光路長で出射光断面強度分布を均一化できる、任意の出射光アスペクト比を有するレーザ光源が達成できるため、前記光学素子の形状設計が自由になるという効果もある。
- [0029] また、本発明の請求項11に記載のレーザ光源は、請求項10に記載のレーザ光源において、前記シリンダリカルレンズが、平凹レンズであるものである。
- [0030] これにより、光学素子への入射光の一軸方向のみの広がり角度を拡大することが可能となり、この結果、出射光断面強度分布の均一化に必要な光学素子の全体光路長を短くすることができる。
- [0031] また、本発明の請求項12に記載のレーザ光源は、請求項8に記載のレーザ光源において、前記光学素子の光入射端面は、曲率を有する湾曲した形状となっているものである。
- [0032] これにより、半導体レーザと光学素子との間の光路上にレンズを配置する必要がなくなり、コンパクトなレーザ光源が得られる。
- [0033] また、本発明の請求項13に記載の2次元画像形成装置は、レーザ光を出射するレーザ光源と、該レーザ光源から出射されたレーザ光を変調する空間光変調部と、前記レーザ光源から出射されたレーザ光を前記空間光変調部に照明する照明光学系とを有する2次元画像形成装置において、前記レーザ光源は、光を伝搬する複数の導波管と、前記複数の導波管を直列に光学的に結合するよう、隣接する導波管を結合する複数の光路結合部とを具備し、前記複数の導波管内を伝搬する光の経路は、前記光路結合部において折れ曲がっているものである。
- [0034] これにより、2次元画像形成装置を構成するレーザ光源を、均一な断面光強度分布

を有する出射光を出力する、非常にコンパクトなものとできる。

[0035] また、本発明の請求項14に記載の2次元画像形成装置は、請求項13に記載の2次元画像形成装置において、前記空間光変調部から出射されるレーザ光を投射する投射光学系を具備したものである。

[0036] これにより、簡単な部品構成で非常にコンパクトな2次元画像形成装置が実現できるという効果がある。

発明の効果

[0037] 本発明に係る光学素子によれば、光を伝搬する複数の導波管と、該複数の導波管を直列に光学的に結合するよう、隣接する導波管を結合する複数の光路結合部とを具備し、前記複数の導波管内を伝搬する光の経路を、前記光路結合部において折れ曲げたので、当該光学素子の装置規模を非常に小さくできると共に、該光学素子において、入射されたレーザ光を均一な断面光強度分布を有する出射光に変換できるという効果が得られる。

[0038] また、前記複数の導波管が中空構造を有するようにし、該中空内部に、気体または液体のいずれかと、ブラウン粒子とを封入することにより、半導体レーザから出射される干渉性の高いレーザ光において発生するスペックルノイズを低減できる。

[0039] また、本発明に係るレーザ光源によれば、前記光学素子と半導体レーザとを一体化し、該半導体レーザと光学素子との間の光路上に、レーザ光を集光あるいは拡散するレンズを設けるようにしたので、光学素子からの出射光広がり角を変えたり、あるいは一軸方向のみ広がり角を変えることが可能となり、その出射光の断面光強度分布が均一化され、そのビーム形状が扱いやすいレーザ光源を得ることができる。

[0040] さらに、前記レーザ光源において、光学素子の前段に前記レーザ光を集光あるいは拡散するレンズを設け、該レンズの曲率を選択することにより、短い光路長で効率よく出射光断面強度分布を均一化されることに加え、出射光アスペクト比を任意の比率に設定できるレーザ光源を実現でき、この結果、光学素子の形状の自由度が大きくなる。

[0041] また、本発明に係る2次元画像形成装置によれば、前記レーザ光源を用いるので、簡単な部品構成でコンパクトな2次元画像形成装置が実現できるという効果がある。

図面の簡単な説明

[0042] [図1]図1は、本発明の実施の形態1による光学素子を説明する斜視図(図(a))、及び断面図(図(b))である。

[図2]図2は、単純なロッド状の導波管を伝搬する半導体レーザ光の伝搬光路を幾何学的に示す図である。

[図3]図3は、前記実施の形態1の光学素子の機能を説明する図であり、レーザ光の自由空間での光強度分布の変化(図(a))と対比させて、導波管内でのレーザ光の光強度分布の均一化(図(b), 図(c))を示す図である。

[図4]図4は、前記実施の形態1による光学素子の、導波管の他の組み合わせ例を示す図である。

[図5]図5は、本発明の実施の形態2の光学素子の光路結合部を導波管で構成した場合の断面図である。

[図6]図6は、本発明の実施の形態3による光学素子を説明する斜視図である。

[図7]図7は、本発明の実施の形態4によるレーザ光源を説明する斜視図(図(a))及び断面図(図(b))である。

[図8]図8は、本発明の実施の形態5によるレーザ光源を説明する側面図である。

[図9]図9は、本発明の実施の形態6によるレーザ光源を説明する斜視図(図(a))及び断面図(図(b))である。

[図10]図10は、本発明の実施の形態7による照明装置を説明する図である。

[図11]図11は、本発明の実施の形態8による2次元画像形成装置を説明する図である。

符号の説明

[0043] 3 反射膜

10, 10a, 10b, 10c, 10d, 20, 30, 40, 50, 60 光学素子

11, 11a, 11b, 11c, 11d, 12, 12a, 12b, 12c, 12d, 13, 13a, 13b, 13c, 13d, 21, 22, 23, 31, 32, 33, Wg 導波管

21, 22 光路結合部

21a, 22a, 22b, 23b 傾斜面

24a, 24b 光通過領域

41, 51, 61, Ld 半導体レーザ

52 平凸レンズ

62 シリンドリカルレンズ

70 レンズ

72 液晶パネル

81 投影レンズ

82 スクリーン

140, 150, 160, 170 レーザ光源

200, 270 照明装置

300 2次元画像形成装置

L1, L1a, L2, L2a, L3 レーザ光

発明を実施するための最良の形態

[0044] 以下、本発明の実施の形態について、図を用いて説明する。

[0045] (実施の形態1)

本実施の形態1では、複数の導波管と、該導波管を光学的に直列に結合する光路結合部とを用いて、装置規模を非常に小さくした光学素子について説明する。

[0046] 図1は、本実施の形態1にかかる光学素子10を説明する図であり、図1(a)は斜視図、図1(b)は断面図である。

[0047] 図1に示す光学素子10は、入射された光を伝搬するガラス材料からなる直方体形状の第1〜第3の導波管11〜13と、該各導波管11〜13を光学的に直列に結合する光路結合部21, 22とを有している。

[0048] この光学素子10では、前記第1の導波管11の上に第2及び第3の導波管12及び13が、これらの導波管での光伝搬方向が平行となるよう順次積み重ねられ、第1の導波管11とその上の第2の導波管12、及び第2の導波管12とその上の第3の導波管13は、対向する面で接着剤などによって接着されている。

[0049] ここで、第2の導波管12の光伝搬方向と垂直な一方の端面、及び第3の導波管13の光伝搬方向と垂直な一方の端面は、前記第1の導波管11の光出射端面と同一面

内に位置している。また、第2の導波管12の光伝搬方向と垂直な他方の端面、及び第3の導波管13の光伝搬方向と垂直な他方の端面は、前記第1の導波管11の光入射端面と同一面内に位置している。

[0050] そして、第1の導波管11の光出射端面側には、第1の導波管と第2の導波管とを光学的に結合する光路結合部である直角プリズム21が設けられており、該直角プリズム21は、第1の導波管11の光出射端面から出射された光が反射されて第2の導波管12の一方の端面に入射するよう、これらの導波管の端面に跨って配置されている。また、第1の導波管11の光入射端面側には、第2の導波管と第3の導波管とを光学的に結合する光路結合部である直角プリズム22が設けられており、該直角プリズム22は、第2の導波管12の他方の面側から出射された光が反射されて第3の導波管13の他方の端面に入射するよう、これらの導波管の端面に跨って配置されている。

[0051] また、前記各導波管11～13の側面及び上下面、並びに直角プリズムの外表面には、該導波管内での光閉じこめが効率よく行われるよう、反射膜3が形成されている。この反射膜3は、例えばアルミニウム材料等からなる金属膜などである。

[0052] 次に作用効果について説明する。

まず、本実施の形態1の光学素子10の動作について簡単に説明する。

[0053] 第1の導波管11の光入射端面に光が入射されると、該入射光は第1の導波管11及び直角プリズム2aを伝搬して第2の導波管12に入射される。該第2の導波管12に入射された光は、導波管12b及び直角プリズム2bを伝搬して第3の導波管13に入射される。そして、第3の導波管13に入射された光は、第3の導波管13の一方の端面から出射される。

[0054] 以下、本実施の形態の光学素子10において、入射光を断面強度分布が均一化な出射光に変換することが可能である点について説明する。

[0055] 例えば、入射光にレーザ光を用いた場合を考える。一般にレーザ光はガウシアン分布の断面光強度分布を持つが、上記レーザ光が導波管内を多重反射しながら伝搬していくとき、反射されたレーザ光が混合される。これにより導波管11、12、13の光伝搬方向と垂直な任意の面内での光強度分布は、光入射端面から遠ざかるに従い徐々に面内で均一化される。従って、導波管11、12、13の光伝搬方向長さを適

当な値に設定することにより、導波管11に入射したレーザ光の断面光強度を、導波管13の光出射端面にて均一なものとする。

[0056] ごく一般的な半導体レーザ (AlGaAs系やAlGaInP系、GaN系など) では、出射光のアスペクト比及び広がり角が異なる。従って、例えば断面アスペクト比がほぼ1となる導波管を用いた場合、半導体レーザから出射される広がり角の大きい方向に対しては断面強度分布を均一化するために必要な導波距離が短くてよいが、広がり角の小さい方向に対してはその距離を長くとる必要がある。

[0057] 従来は、出力光の断面強度分布均一化の方法として、例えば特許文献4に示されるようなロッド状インテグレート導波管を用いたデバイスが提案されているが、完全な均一化を行うために光の伝搬方向に対してロッド長を数10mm以上にする必要があった。

[0058] これに対し、本実施の形態1では、第1〜第3の導波管11〜13を重ねて配置し、これらの導波管11〜13を、第1の導波管の出射光が第2の導波管に入射し、第2の導波管からの出射光が第3の導波管に入射するよう、反射プリズム21及び22を用いて光学的に結合したので、これら3つの導波管11〜13の長さの合計が、断面強度分布を均一化するのに必要な光の導波距離となる。このため、各導波管の光伝搬方向の長さを短くし、素子全体の長さを大幅に短くすることが可能である。

[0059] 次に、導波管の長さを具体的に決定する方法について説明する。

この実施の形態1の光学素子10では、導波管の光伝搬方向長さがデバイスの大きさを決定する主要因となるため、できるだけコンパクトな光学素子を実現する設計が必要となる。

[0060] 図2は、単純なロッド状の導波管を伝搬する半導体レーザ光の伝搬光路を幾何光学的に示す図である。

[0061] 図2では、光学素子の光伝搬方向の寸法が、出射光の光強度分布の均一化のために最も長くなる場合として、単一の半導体レーザをその出射光が1つの導波管内に入射するよう導波管の光入射端面に隣接させて配置した場合を示している。

[0062] なお、図中、 L_d は半導体レーザ、 W_g は屈折率が n の透明材料からなる導波管である。また、 θ_1 は導波管 W_g 内でのレーザ光 L_1 の広がり角であり、光強度分布の半値

全角で表されている。またレーザ光広がり方向の導波管Wgの幅をW、レーザ光入射端面から導波管Wgの光出射端面までの長さ(つまり、導波管の長さ)をLとしている。

[0063] 図2に示す半導体レーザと導波管の配置では、導波管Wgに入射されたレーザ光L1は導波管Wgの側面で反射される。従って、導波管Wgの内部では、自由空間での光強度分布を導波管Wgの側壁部分で折り返して重ね合わされた光強度分布が観測される。

[0064] 図3は、このような導波管側面でのレーザ光の反射により光強度分布が均一化される様子を説明する図である。

[0065] 図3(a)は、レーザ光が導波管が存在しない自由空間中を伝搬する場合の強度分布を、図3(b)は、レーザ光が導波管内を伝搬する場合の、導波管側面での光強度分布の重なり状態を、図3(c)は、前記光強度分布の重ね合わせにより得られる光強度分布を示す。なお、図3中において、Ldは半導体レーザ、Wgは屈折率がnの透明材料からなる導波管である。また、 θ_2 は自由空間中の半導体レーザ光の広がり角を示し、 θ_3 は屈折率nの導波管Wg内でのレーザ光の広がり角を示す。

[0066] 図3(a)に示すように、自由空間中を伝搬する半導体レーザLdからの出射光は、伝搬とともに広がり角 θ_2 で広がっていく。このように自由空間では、半導体レーザLdからの出射光の空間的な広がりが増大するがその強度分布は変化せず、その断面強度分布はガウシアン分布型の強度分布を維持し続ける。

[0067] つまり、半導体レーザLd近傍の光伝搬方向に垂直な面内D、半導体レーザLdから離れた光伝搬方向に垂直な面内F、及びこれらの間に位置する光伝搬方向に垂直な面内Eで、いずれも光強度分布はガウシアン分布となっている。

[0068] 一方、図3(b), (c)に示すように、導波管Wg内を伝搬する半導体レーザLdからの出射光は、該導波管Wgの側壁で全反射される。

[0069] つまり、導波管Wgに入射されたレーザ光の光強度分布は、半導体レーザLd近傍の光伝搬方向に垂直な面内D'においてガウシアン分布を有しているが、導波管内でレーザ光同士が多重反射しながら、光の入射面から光の伝搬方向にすすむにしたがって徐々に導波管の断面(光伝搬方向と垂直な面E')内で均一化され、半導体レーザLdから離れた光伝搬方向に垂直な面内F'においてその光強度分布は均一化

されている。

[0070] この場合は、屈折率 n の導波管 Wg 内に入射されたレーザ光の広がり角度 θ_3 は、

$$[0071] \quad \theta_3 = 2 \times \sin^{-1}((\sin(\theta_2/2))/n)$$

[0072] となる。ここで導波管 Wg の幅を W とすると、該導波管 Wg に入射した光ビームが、入射面からの距離が $W/(2 \times \tan(\sin^{-1}(\sin(\theta_2/2)/n)))$ となる位置に達したときに、その光強度分布の一部が導波管 Wg の側面で反射され始める。そして、入射した光ビームがこの位置を越えると、反射される光の強度分布は徐々に増大し、導波管 Wg の出射面に達するまでは、図3(a)に示すように光が自由空間を伝搬する場合の光強度分布を、導波管の側壁に相当する部分で折り返して重ね合わせた光強度分布が観測される(図3(b))。

[0073] このとき、実質的な断面光強度分布(図3(c))が、十分均一になるには、例えば導波管 Wg の長さを十分長く取り、全反射回数を多くする程良い。しかしながら、デバイス作製および使用の観点からすると、できるだけコンパクトなレーザ光源であることが望ましい。

[0074] そこで、導波管 Wg 内のレーザ光の光強度分布を均一化させるために必要な導波管の長さ L について検討したところ、少なくとも以下に示す(式1)の条件を満たしていれば、光強度分布が均一化されるということが判った。

$$[0075] \quad L \geq W / \tan(\sin^{-1}(\sin(\theta_1/2)/n)) \quad \cdots (式1)$$

θ_1 :レーザ出射光の広がり角

n :導波管内部の屈折率

W :導波管幅

[0076] 従って、複数の導波管11～13を立体的に重ねて配置し、これらの導波管を光路結合部21, 22により直列に接続することにより、光学素子の光伝搬方向の寸法を、光強度分布の均一化に必要な長さ、即ち光伝搬経路長 L の、およそ3分の1にすることが可能である。

[0077] このように本実施の形態1の光学素子10では、立体的に重ねて配置した複数の導波管と、これらの導波管を直列に光学的に接続する光路結合部21, 22とを有するので、入射されたレーザ光を均一な断面光強度分布を有する出射光に変換でき、しか

も光伝搬方向の寸法が小さい光学素子を得ることができる。

[0078] なお、前記実施の形態1では、積層する導波管の個数を3個としているが、これは3個に限るものではなく、また、前記第1〜第3の導波管11〜13それぞれの光伝搬方向長さはどのようなものであってもよい。言い換えると、実施の形態1の光学素子のように導波管を複数積層したものは、導波管積層数と各導波管長さを任意に決定することが容易であり、素子サイズを任意に変化させることができるという利点を有している。

[0079] また、積層する導波管の個数を偶数個とすることにより、光学素子からの出射光の進行方向を光学素子への入射光の進行方向と逆向きにすることができ、積層する導波管個数を奇数個とすることにより、光学素子からの出射光の進行方向を光学素子への入射光の進行方向と同じ向きにすることができる。このため、出射光の強度分布を均一化した光学素子を用いた装置設計の自由度が広がるという利点もあった。

[0080] さらに、本実施の形態1では、複数の導波管を、各導波管での光伝搬方向が一定方向となるようその高さ方向に積み重ねた光学素子を示したが、光学素子は、複数の導波管をその幅方向に重ね合わせたものでも、あるいは、導波管の幅方向の重ね合わせと高さ方向の重ね合わせを組み合わせたものでもよく、また、1つの導波管での光伝搬方向が他の導波管での光伝搬方向と異なってもよい。この場合、前記光学素子における導波管の配置を、該光学素子を装備する装置におけるレイアウト上の制限に応じたものとする。

[0081] 図4は、このような複数の導波管の立体的な配置の例を示している。

なお、図4中、L1は導波管に入射する入射光、L2は、導波管から出射する出射光である。

[0082] 図4(a)に示す光学素子10aは、図1に示す光学素子10と同様、3つの導波管11a, 12a, 13aと、これらの導波管を光学的に直列に結合する光路結合部21a及び22aとを有している。

[0083] この光学素子10aでは、3つの導波管11a, 12a, 13aがコ字形の各辺に対応するよう同一平面上に配置されている。そして、導波管11aの光出射端面と導波管12aの光入射端面との間には、光路を90度折り曲げるプリズム21aが、これらの導波管が光学的に結合されるよう配置されている。また、導波管12aの光出射端面と導波管13a

の光入射端面との間には、光路を90度折り曲げるプリズム22aが、これらの導波管が光学的に結合されるよう配置されている。

[0084] 図4(b)に示す光学素子10bは、前記光学素子10あるいは10aと同様、3つの導波管11b, 12b, 13bと、これらの導波管を光学的に直列に結合する光路結合部21b及び22bとを有している。

[0085] ここで、前記3つの導波管11b, 12b, 13bはその幅方向に配列されており、導波管11bの光出射端面と導波管12bの光入射端面とが同一面内に位置し、また、導波管12bの光出射端面と導波管13bの光入射端面とが同一面内に位置している。そして、導波管11bと導波管12bとを光学的に結合する直角プリズム21bが、該導波管11bの光出射側端面及び該導波管12bの光入射側端面に跨るよう配置されている。また、導波管11bと導波管13bとを光学的に結合する直角プリズム22bが、該導波管12bの光出射側端面及び該導波管13bの光入射側端面に跨るよう配置されている。

[0086] 図4(c)に示す光学素子10cは、前記光学素子と同様、3つの導波管11c, 12c, 13cと、これらの導波管を光学的に直列に結合する光路結合部21c及び22cとを有している。

[0087] ここで、導波管11cと導波管12cとはその幅方向に隣接させて配置され、導波管12c上には導波管13cが配置されている。また、導波管11cの光出射端面と導波管12cの光入射端面とが同一面内に位置し、また、導波管12cの光出射端面と導波管13cの光入射端面とが同一面内に位置している。そして、導波管11cと導波管12cとを光学的に結合する直角プリズム21cが、該導波管11cの光出射側端面及び該導波管12cの光入射側端面に跨るよう配置されている。また、導波管12cと導波管13cとを光学的に結合する直角プリズム22cが、該導波管12cの光出射側端面及び該導波管13cの光入射側端面に跨るよう配置されている。

[0088] 図4(d)に示す光学素子10dは、前記光学素子と同様、3つの導波管11d, 12d, 13dと、これらの導波管を光学的に直列に結合する光路結合部21d及び22dとを有している。

[0089] ここで、導波管11dと導波管12dとはその幅方向に隣接させて配置され、導波管11dと導波管12dとを光学的に結合する直角プリズム21dが、該導波管11dの光出射側

端面及び該導波管12dの光入射側端面に跨るよう配置されている。また、導波管13dは、導波管12dの光出射端面側に、その光伝搬方向が導波管12dの高さ方向となるよう配置されており、導波管12dの光出射端面と導波管13dの光入射端面との間には、光路を90度折り曲げるプリズム22dが、これらの導波管が光学的に結合されるよう配置されている。

[0090] なお、本実施の形態1では、図1、あるいは図4に示すように、複数の導波管を伝搬する光の経路が、光路結合部のすべてにおいて折れ曲がっている光学素子を例に挙げたが、前記光の経路が、すべての光路結合部において折れ曲がっている必要は無く、該光路結合部が導波管同士を直列に接続するものであってもよい。

[0091] また、前記実施の形態1では、前記光学素子は、導波管同士を、プリズムを用いて光学的に結合したものを示したが、前記光学素子は、導波管同士の光学的な結合にプリズムを用いるものに限らない。

[0092] (実施の形態2)

図5は、本発明の実施の形態2による光学素子を説明する図である。

この実施の形態2の光学素子20は、実施の形態1の光学素子10の各導波管を、プリズムを用いなくて直列に光学的に結合したものである。

[0093] すなわち、図5に示す光学素子20は、一端側端面を導波管内での光伝搬方向に対して45度傾斜させた第1の導波管21と、両端面を導波管内での光伝搬方向に対して45度傾斜させた第2の導波管22と、一端側端面を導波管内での光伝搬方向に対して45度傾斜させた第3の導波管23とを有している。

[0094] ここで、第1の導波管21の一端側の傾斜面21aは、導波管内を伝搬する光を、導波管高さ方向に沿って出射するよう反射する上向きの反射面である。第2の導波管22の一端側の傾斜面22bは、導波管高さ方向に沿って入射する光を、その進行方向が導波管長さ方向となるよう反射する下向きの反射面であり、第2の導波管22の他端側の傾斜面22aは、導波管内を伝搬する光を、導波管高さ方向に沿って出射するよう反射する上向きの反射面である。第3の導波管23の一端側の傾斜面23bは、該導波管高さ方向に沿って入射する光を、その進行方向が導波管長さ方向となるよう反射する下向きの反射面である。

- [0095] そして、この光学素子20では、前記第1の導波管21の上に第2の導波管22が、これらの導波管の光伝搬方向が平行となり、かつ第1の導波管21の一端側上向き反射面21aと第2の導波管22の一端側下向き反射面22bとが対向するよう積み重ねられている。また、第2の導波管22の上には、第3の導波管23が、これらの導波管の光伝搬方向が平行となり、かつ第2の導波管22の他端側上向き反射面22aと第3の導波管23の一端側下向き反射面23bとが対向するよう積み重ねられている。第1の導波管21とその上の第2の導波管22、及び第2の導波管22とその上の第3の導波管23は、対向する面で接着剤などによって接着されている。
- [0096] ここでは、第1の導波管21の上向き反射面21aと第2の導波管22の下向き反射面22bとにより、第1の導波管21と第2の導波管22とを結合する光路結合部が形成されており、第2の導波管22の上向き反射面22aと第3の導波管23の下向き反射面23bとにより、第2の導波管22と第3の導波管23とを結合する光路結合部が形成されている。
- [0097] なお、各導波管21、22、23の上下両側面、さらに光路結合部の外表面には、導波管内での光閉じこめが効率よく行われるよう、例えばアルミニウム材料からなる金属膜などの高反射膜が形成されている。また、前記上下の導波管を結合する光路結合部では、2つの導波管を構成するガラス材料が密着しており、該密着面は、高反射膜は形成されていない光通過領域24a及び24bとなっている。
- [0098] 次に作用効果について説明する。
- 第1の導波管21の光入射側端面から入射された光は、該第1の導波管21および光路結合部を伝搬して第2の導波管22に入射される。第2の導波管22に入射した光は、該第2の導波管22及び光路結合部を伝搬して第3の導波管23に入射される。そして、第3の導波管23に入射された光は、その光出射側端面から出射される。
- [0099] このように本実施の形態2では、第1〜第3の導波管21〜23を重ねて配置し、これらの導波管21〜23を、第1の導波管21の出射光が第2の導波管22に入射し、該第2の導波管22からの出射光が第3の導波管23に入射するよう、各導波管の端部を加工して形成した傾斜面を利用して光学的に結合したので、これら3つの導波管21〜23の長さの合計が、断面強度分布を均一化するのに必要な光の導波距離となる。こ

のため、各導波管の光伝搬方向の長さを短くし、素子全体の長さを大幅に短くすることが可能である。

[0100] また、この実施の形態2では、各導波管を、導波管端部に形成した傾斜面を利用して光学的に結合しているので、プリズムを用いる必要がなく、部品点数を削減できるという効果もある。

[0101] (実施の形態3)

図6は、本発明の実施の形態3による光学素子を説明する斜視図である。

本実施の形態3の光学素子30は、入射された光を伝搬するガラス材料からなる直方体形状の第1～第3の導波管31～33と、該各導波管31～33を直列に光学的に結合する光路結合部21、22とを有している。

[0102] この光学素子30では、実施の形態1と同様、前記第1の導波管31の上に第2及び第3の導波管32、33が、これらの導波管の光伝搬方向が平行となるよう順次積み重ねられ、第1の導波管31と第2の導波管32とが光路結合部である直角プリズム21により、第2の導波管32と第3の導波管33とが光路結合部である直角プリズム22により、光学的に結合されている。

[0103] そして、本実施の形態3では、前記各導波管31～33は、例えば可視光領域で透明な材質からなる中空構造のセルにより形成されており、前記各導波管の内部には、気体または液体のいずれかと、ブラウン粒子とが封入されている。

[0104] 次に作用効果について説明する。

このような構成の光学素子は、コンパクトな構造で、入射されたレーザ光を均一な断面光強度分布を有する出射光に変換でき、さらに、レーザ光源特有のスペックルノイズを除去できるものである。

[0105] 以下、詳しく説明する。

前述したように、スペックルノイズは干渉性の高いレーザ光を用いたときに生じるものであり、スクリーン表面の凹凸各部において反射された散乱光同士の干渉がその要因である。一般的に知られている従来のスペックルノイズの低減方法には、スクリーンを振動させる方法や、拡散板を透過させる方法があり、このようにすることでレーザ光に時空間的にランダムな位相を与えて、空間的かつ時間的なスペックルパターン

の変化を生じさせることによって、観察されるスペックルパターンを低減することができる。

[0106] そこで、光学素子を構成する導波管を中空のセル構造として、上記導波管内部でレーザ光の位相を乱すことは有効であると考えられる。そして、本件発明者等は、気体あるいは液体中にあるブラウン粒子に注目し、ブラウン粒子に同様の位相攪乱作用があることを見いだした。

[0107] ブラウン粒子は、ブラウン運動、つまり溶媒となる気体または液体の粒子が様々な方向から様々な速度で衝突することによる規則性のない乱雑な動きをするような粒子を指し、運動の活発さはブラウン粒子の大きさ、温度および溶媒の粘度に依存する。

[0108] 例えば、温度が高くなれば、溶媒をなす分子の熱運動は活発になる。従って、温度の上昇により溶媒分子は激しく移動し、それに伴いブラウン粒子も動きが活発になる。つまり、溶媒分子が勢いよくブラウン粒子に衝突すると、ブラウン粒子が突き動かされる量も大きくなる。このことから、ブラウン運動は温度が高いほど活発になるということがわかる。

[0109] また、ブラウン粒子の大きさが大きくなると、質量も大きくなる。これにより溶媒分子がブラウン粒子を突き動かす量は小さくなる。また、ブラウン粒子の表面積が広がったことにより、一度に多くの粒溶媒分子が様々な方向から衝突し、それらの力が打ち消しあうため、ブラウン粒子が受ける力は小さくなる。この2つの理由によりブラウン粒子が大きいとブラウン運動が起きにくくなる。

[0110] 本実施の形態3においては、ブラウン粒子として、コロイド粒子であるラテックス粒子（ポリスチレン標準粒子、粒径 $1\ \mu\text{m}$ 程度）を用いた。

[0111] コロイドとは一般には 10^{-9}m ～ 10^{-6}m 程度の大きさの粒子が示す性質を指し、コロイド粒子の分散媒質が固体であるゲル、分散媒質が液体であるゾル、分散媒質が気体であるエアロゾルに分けられる。いずれのコロイドもブラウン運動を示すが、扱い易さのため分散媒質が液体からなるゾルを用いるのが好ましい。スペックルノイズ低減のためには、透過させる光を散乱させることのできる大きさを有するコロイド粒子が必要である。そこで、本実施の形態3では、上述した $1\ \mu\text{m}$ 程度の粒径のものを用いた。

[0112] また特に、可視光領域において本発明の光学素子を用いるには上記コロイド粒子

は使用波長域で透明であることが好ましい。コロイド粒子の多くは可視光に対して不透明であるが、コロイド濃度を制御して希薄なコロイド溶液等を用いることにより光透過率とスペックルノイズ低減効果とを調整することが可能である。

- [0113] 上記ラテックス粒子を充填剤(溶媒)である水に分散させたラテックス溶液をセル構造の導波管内に密封し、沈降平衡に達した状態でレーザ光を照射し、導波管からの出射光をスクリーンに投影したときに観察されるスペックルノイズを、ガラス材料により形成した中空でない導波管を用いた場合に観測されるスペックルノイズと比較した。
- [0114] 中空構造の導波管にラテックス溶液を封入した光学素子では、上述した出射光強度分布均一化作用に加えて、ブラウン運動を行うラテックス粒子により導波管内を伝搬するレーザ光の位相が時間的かつ空間的に乱されて平均化され、例えばガラス材料により形成した中空でない導波管を用いた場合に比べてスペックルノイズが大幅に低減された。
- [0115] なお、粒子径 $0.8\mu\text{m}$ 程度のラテックス粒子を用いると、粒子が軽くなるため粒子分布および粒子のブラウン運動は激しくなり、より効果的なスペックルノイズ低減が実現された。また逆に、粒径の大きなラテックス粒子(粒径 $3\mu\text{m}$ 程度)を用いた場合には光の散乱が大きくなるが、ブラウン運動が緩やかになるためトータルとしてスペックルノイズ低減効果が弱い。しかしながら、ラテックス溶液の温度を 60°C 以上の高温にするとブラウン運動が激しくなり、スペックルノイズ低減を効果的に行うことができることがわかっている。
- [0116] 以上のように、本実施の形態3の光学素子30では、中空構造を有する複数本の導波管31〜33と、該導波管を直列に光学的に結合する光路結合部21, 22とを備え、該各導波管の中空部分に、気体または液体のいずれかとブラウン粒子とを封入したので、コンパクトな構造で、入射されたレーザ光を均一な断面光強度分布を有する出射光に変換でき、しかも、レーザ光源特有のスペックルノイズを大幅に低減することができる。
- [0117] なお、前記実施の形態3では、3つの導波管31〜33を各導波管内での光伝搬方向が平行になるよう導波管高さ方向に重ねて配置し、これらの導波管を光路結合部21, 22により直列に光学的に結合した光学素子を示したが、光学素子を構成する導

波管の数や光路結合部の数、あるいは導波管の長さやその配置は、前記実施の形態3のものに限らない。

[0118] また、本実施の形態3では、導波管を結合する光路結合部には直角プリズム21、22を用いているが、導波管の結合は、前記実施の形態2に示すように、各導波管の端面を光伝搬方向に対して傾斜させて実現してもよく、この場合も実施の形態3と同様の効果が得られる。

[0119] (実施の形態4)

図7は、本発明の実施の形態4によるレーザ光源を説明する図であり、図7(a)は斜視図、図7(b)は側面図である。

[0120] この実施の形態4のレーザ光源140は、半導体レーザ41を、該半導体レーザ41から出射されたレーザ光を均一化した光強度分布を有する出射光に変換する光学素子40と一体化したものである。ここで、光学素子40は、実施の形態1の光学素子10と同一のものであり、導波管高さ方向に重ねて配置した第1〜第3の導波管11〜13と、これらの導波管を直列に光学的に結合する第1、第2の光路結合部21、22とを有している。

[0121] 次に作用効果について説明する。

現在、広く市販されているレーザ光源の中で、最も小型の汎用レーザ光源は半導体レーザであり、様々な装置や民生用製品に用いられている。上述したように、半導体レーザの小型高出力化が進んでおり、出力波長は限定されるものの、例えばマルチモード半導体レーザで数Wクラスの出力を達成しているものもある。こうした小型高出力レーザを用いて出力光強度分布を均一化した光源を達成するためには、実施の形態1で示した光学素子と、半導体レーザとを一体化した光源モジュールが有効である。

[0122] つまり、本実施の形態の光学素子では、半導体レーザ41から出射したレーザ光L1が、第1の導波管11の光入射端面から入射されると、入射レーザ光は、第1の導波管11、直角プリズム21、第2の導波管12、直角プリズム22、及び第3の導波管13内を伝搬し、該第3の導波管13の光出射端面から出射する。このようにレーザ光が導波管内を多重反射しながら伝搬していくとき、反射されたレーザ光が混合される。こ

れにより導波管11、12、13の光伝搬方向と垂直な任意の面内での光強度分布は、光入射端面から伝搬方向に遠ざかるに従い徐々に面内で均一化される。

[0123] 従って、実施の形態1の光学素子と半導体レーザとを一体化することにより、出射光の断面光強度が均一化されたレーザ光源を得ることができる。

[0124] 以上のように、本実施の形態4では、半導体レーザ41と、実施の形態1の光学素子と同一構成の光学素子40を一体化して、該半導体レーザ41から出射されたレーザ光を、均一化した光強度分布を有する出射光に変換して出射するレーザ光源140を構成したので、均一な出射光断面強度分布を有する小型のレーザ光源を得ることができる。

[0125] なお、本実施の形態4では、レーザ光源を構成する光学素子は前記実施の形態1のものと同一のものであるが、レーザ光源を構成する光学素子は、図4(a)～図4(d)、図5、あるいは図6に示すものと同一のものでもよい。例えば、前記光学素子を、図6に示す前記実施の形態3の光学素子と同一のものとすることにより、均一な断面光強度を確保しつつ、レーザ光源特有のスペックルノイズを除去できる小型のレーザ光源を得ることができる。

[0126] (実施の形態5)

図8は、本発明の実施の形態5によるレーザ光源を示す側面図である。

この実施の形態5のレーザ光源150は、実施の形態4のレーザ光源を構成する半導体レーザと光学素子との間の光路上に平凸レンズを配置したものである。

[0127] つまり、レーザ光源150は、半導体レーザ51と、該半導体レーザ51から出射されたレーザ光を集光する平凸レンズ52と、該平凸レンズで集光されたレーザ光を、均一化した光強度分布を有する出射光に変換する光学素子50とを有している。ここで、半導体レーザ51は実施の形態4の半導体レーザ41と同一のものである。また、光学素子50は、実施の形態1の光学素子10と同一のものであり、導波管高さ方向に重ねて配置した第1～第3の導波管11～13と、これらの導波管を直列に光学的に結合する第1、第2の光路結合部21、22とを有している。

[0128] 次に作用効果について説明する。

本実施の形態5のレーザ光源は、実施の形態4のレーザ光源140を構成する半導

体レーザと光学素子との間に平凸レンズ52を配置しており、これにより、光学素子からの出射光のビーム広がり角を小さくすることができるものであり、以下この点について説明する。

[0129] 例えば、ごく一般的な半導体レーザ、例えばAlGaAs系やAlGaInP系、さらにはGaN系などの半導体材料からなる半導体レーザでは、その構造上、楕円状のビームが出射され、出射光の広がり角がビームの垂直方向と水平方向とで異なる。

[0130] 代表的な半導体レーザの広がり角は狭い方(半導体レーザ出射端でのビーム形状の短軸方向)で 8° ～ 15° 、広い方(半導体レーザ出射端でのビーム形状の長軸方向)では 20° ～ 30° になる。

[0131] 従って、例えば、本実施の形態5で示す導波管と光路結合部とを用いた光学素子の出射光広がり角も同様の大きさを持ち、出射光を利用することを考えると非常に扱いにくい光ビームであると言える。

[0132] このような課題を解決するため、本件発明者等は、実施の形態4のレーザ光源における半導体レーザと光学素子との間の光路上に集光レンズを配置し、光学素子への入射光角度が半導体レーザの広がり角よりも小さくなるようにすることで、光学素子から出射される光の広がり角を抑えることを検討した。

[0133] なお、図8中のX、YおよびZは便宜上の方向を表すものであり、ここでは、X方向は導波管幅方向、Y方向は導波管高さ方向、Z方向は導波管内での光伝搬方向である。また、 θ_4 は、半導体レーザ出射光の、Y方向と垂直な面内での広がり角(以下、X方向広がり角ともいう)、 θ_5 は平凸レンズを透過した後のレーザ光の、Y方向と垂直な面内での広がり角(以下、X方向広がり角ともいう。)である。

[0134] 本実施の形態5のレーザ光源の動作について簡単に説明する。

このレーザ光源150では、半導体レーザ51からの出射光は平凸レンズ52を透過することにより、XおよびY方向に縮小され、広がり角が縮小されたレーザ光L1aが光学素子50に入射する。光学素子50に入射したレーザ光L1aは、導波管及び光路結合部内を伝搬して最終段の導波管の出射端面から出射光L2aとして出力される。

[0135] ここで、平凸レンズ52の屈折率および曲率を選択することにより任意のビーム広がり角に変換することが可能である。

- [0136] 従って、例えば、半導体レーザ51から出射されるレーザ光のX方向広がり角 θ_4 が $\theta_4 = 30^\circ$ であった場合に、光学素子50に入射するレーザ光L1aのX方向広がり角 θ_5 を 10° 以下にすることも可能である。
- [0137] これにより、光学素子50内部で多重全反射を繰り返して伝搬して出射されるレーザ光L2aのX方向広がり角を、光学素子50に入射するレーザ光L1aのX方向広がり角 θ_5 と同程度に縮小することができる。
- [0138] なお、平凸レンズ52は、X方向に垂直な面内、及びY方向に垂直な面内でともに同じ曲率であるため、光学素子50に入射されるレーザ光広がり角は、X方向に垂直な面内、及びY方向に垂直な面内のそれぞれに対して同じ比率で縮小される。また、光学素子50に対するレーザ光の入射広がり角の大きさと、光学素子50の内部光路長とは、実施の形態1で挙げた(式1)に示されるように、トレードオフの関係にあり、前記光学素子50に入射するレーザ光L1aのX方向広がり角 θ_5 が小さくなるほど、光学素子50の出射端面光強度分布を均一化するのに必要な導波管長さが大きくなる。従って、本実施の形態5のレーザ光源では、その用途に応じて、光学素子50に入射するレーザ光L1aのX方向広がり角 θ_5 を選択する必要がある。
- [0139] 以上のように、本実施の形態5によるレーザ光源150では、半導体レーザ51と、該半導体レーザ51から出射されたレーザ光を集光する平凸レンズ52と、該平凸レンズで集光されたレーザ光を、均一化した光強度分布を有する出射光に変換する、実施の形態1の光学素子と同一構成の光学素子50とを備えたので、入射レーザ光を、均一な出射光断面強度分布を有する出射光に変換することができ、しかも出射光の広がり角を任意の角度に調整可能なコンパクトなレーザ光源を実現できる。
- [0140] なお、本実施の形態5では、前記半導体レーザ51の出射光を集光して光学素子50に出射する集光レンズを平凸レンズとしているが、前記集光レンズは、該平凸レンズの代わりに、両凸レンズを用いてもよく、この場合も前記実施の形態5と同様の効果が得られる。
- [0141] また、本実施の形態5では、半導体レーザ51と光学素子50との間の光路上にレンズを配置して、出射光の広がり角を調整するものを示したが、該レンズを配置する代わりに、光学素子50の光入射端面が凸面、凹面、あるいは該入射端面の垂直方向と

水平方向とで異なる曲率を有する形状に加工してもよく、この場合も、前記実施の形態5と同様の効果が得られる。

[0142] さらに、本実施の形態5では、入射レーザ光を、均一な断面強度分布を有する出射光に変換する光学素子が前記実施の形態1のものと同一構成である場合を示したが、前記光学素子は、前記実施の形態2と同一構成であってもよい。さらに前記光学素子は、前記実施の形態3のものと同一構成であってもよく、この場合、レーザ光源特有のスペックルノイズを除去できる効果も得られる。

[0143] (実施の形態6)

図9は、本発明の実施の形態6によるレーザ光源を説明する図であり、図9(a)は斜視図であり、図9(b)は側面図である。

[0144] この実施の形態6のレーザ光源160は、半導体レーザ61と、該半導体レーザ61から出射されたレーザ光の広がり角度を変化させる平凹レンズのシリンドリカルレンズ62と、該レンズ62を透過したレーザ光を、均一化した光強度分布を有する出射光に変換する光学素子60とを有している。ここで、半導体レーザ61は前記実施の形態4の半導体レーザ41と同一のものである。また、光学素子60は、前記実施の形態1の光学素子10と同一のものであり、導波管高さ方向に重ねて配置した第1〜第3の導波管11〜13と、これらの導波管を直列に光学的に結合する第1、第2の光路結合部21、22とを有している。また、シリンドリカルレンズ62は、その光出射端面が第1の導波管11の光入射端面に密着するよう配置されており、その光入射端面が、導波管の幅方向(図中のY方向)に垂直な面内で凹状に湾曲した凹面形状となっている。従って、このシリンドリカルレンズ62では、半導体レーザ61からのレーザ光は、導波管の幅方向(図中のY方向)に垂直な面内における広がり角(以下、X方向広がり角ともいう。)が拡大されて出力される。

[0145] 次に作用効果について説明する。

本実施の形態6のレーザ光源160は、半導体レーザ61と光学素子60との間の光路上にシリンドリカルレンズ62を配置しており、これにより、入射光の断面光強度分布を均一化する光学素子における光路長を短くすることができ、また光学素子60からの出射光のアスペクト比を任意に選択できるものである。以下、これら点について説

明する。

- [0146] 前述したように、一般的な半導体レーザでは、出射光のアスペクト比および広がり角が異なる。従って、広がり角の大きい方向に対して断面強度分布を均一化するために必要な導波距離が短く、広がり角の小さい方向に対してはその距離を長くとる必要がある。ここで例えば、凹面を有するシリンダリカルレンズを半導体レーザと光学素子との間の光路上に配置することにより、光学素子におけるトータル光路長を非常に短くして出射光の断面光強度分布を均一化することができる。
- [0147] つまり、半導体レーザ61から出射されたレーザ光L1はシリンダリカルレンズ62により、Y方向に垂直な面内での広がり角のみが拡大される。従って、半導体レーザ61からの出射光が本来有している楕円形状の短軸側の広がり角のみを拡大して、任意のビームアスペクト比(X方向ビーム広がり角とY方向ビーム広がり角の比)を実現することができる。
- [0148] また、凹面を有するシリンダリカルレンズ62によってビーム拡大をするため、光学素子60への入射光の広がり角が大きくなり、このため、出射光の断面光強度分布の均一化に必要な光学素子60のトータルの光路長を短くすることができる。
- [0149] 従って、例えば、導波管断面形状を任意のアスペクト比を有する矩形に設計した場合にも、該導波管断面形状のアスペクト比に応じてシリンダリカルレンズ62の曲率を選択するようにすれば、効率よく短い光路長で出射光断面強度分布を均一化できる、任意のビームアスペクト比を有するレーザ光源を達成できる。
- [0150] 以上のように、本実施の形態6のレーザ光源160では、半導体レーザ61と光学素子60との間の光路上に、シリンダリカルレンズ62を配置したので、該シリンダリカルレンズ62により、光学素子に入射するレーザ光のビームアスペクト比を任意の比にすることが可能となる。例えば、半導体レーザから出射された楕円形状のビーム光を円形に整形して、扱いやすいビームを出射するレーザ光源160を得ることができる。
- [0151] また、各導波管の断面形状を任意のアスペクト比を有する矩形に設計した場合にも、前記シリンダリカルレンズの曲率を選択して、効率よく短い光路長で出射光断面強度分布を均一化できるため、前記光学素子の形状設計が自由になるという効果もある。

- [0152] なお、本実施の形態6では、レーザ光源は、半導体レーザ61と光学素子60との間の光路上に、シンドリカルレンズ62を配置したものであるが、該シンドリカルレンズを配置する代わりに、光学素子60の光入射端面が曲率を持つよう、導波管の端面を加工してもよく、この場合も同様の効果が得られる。
- [0153] さらに、本実施の形態6では、入射レーザ光の断面光強度分布を均一化する光学素子は前記実施の形態1と同一のものとしているが、前記光学素子は前記実施の形態2と同一ものでもよい。さらに前記光学素子は前記実施の形態3のものと同じのものであってもよく、この場合、該レーザ光源から出射される光から、レーザ光源特有のスペックルノイズを除去できる効果も得られる。
- [0154] また、本実施の形態6では、シンドリカルレンズが平凹面形状を有する場合を例に挙げて説明したが、シンドリカルレンズが平凸面形状を有するものであってもよい。この場合、そのシンドリカルレンズに入射される光は、楕円形状の一方軸の広がり角を縮小して、任意の出射光アスペクト比を有するレーザ光源が達成できるため、前記光学素子の形状設計が自由になるという効果が得られる。
- [0155] (実施の形態7)
- 図10は、本発明の実施の形態7による照明装置200を説明する図である。
- この実施の形態7の照明装置200は、レーザ光L2を出射するレーザ光源170と、空間光変調デバイスである液晶パネル72と、前記レーザ光源からの出射光L2を前記液晶パネル72に照射する集光レンズ71とを備えている。なお、L3は液晶パネル71を透過した後のレーザ光である。ここで、前記レーザ光源170は、図7に示す前記実施の形態4のレーザ光源140と同一のものである。
- [0156] この実施の形態7のレーザ光源170では、前記実施の形態4で述べたように、半導体レーザ41から光学素子40に入射されたレーザ光L1が、光学素子40を伝搬する間に断面光強度分布が均一化され、レーザ光源170からは、断面光強度分布が均一化された出射光L2が出力される。さらに、レーザ光源170から出射されたレーザ光L2は、レンズ71により液晶パネル72に拡大投影される。このとき、例えば、光学素子40の出射端面の形状を液晶パネル72の形状と相似形にすることにより、出射光L2の光量をほとんど損失することなく有効に液晶パネル72に照射することが可能とな

る。液晶パネル72に照射された出射光L2は、例えば液晶パネル72に2次元画像信号を与えることにより、任意の強度分布を有する、すなわち2次元画像として表示されるレーザ光L3に変調される。

[0157] このような実施の形態7の照明装置200を用いることにより、例えば、背面投射型ディスプレイや、ヘッドマウントディスプレイのように、大小各種ディスプレイを実現することができる。また、空間光変調デバイス72を透過したレーザ光L3を、適当な投影光学系を用いて例えばスクリーンに拡大投影することも可能である。

[0158] (実施の形態8)

図11は、本発明の実施の形態8による2次元画像形成装置を説明する図である。

この実施の形態8の2次元画像形成装置300は、照明光学系を構成する照明装置270と、該照明装置270から出力された、変調されたレーザ光を拡大投影する投影レンズ81と、該投影レンズ81からの投影光を受けて2次元画像を表示するスクリーン82とを備えている。ここで、前記照明装置270は、前記実施の形態7の照明装置200の構成を有している。

[0159] このような2次元画像形成装置300では、前述したように、レーザ光源170からの出射光L2がレンズ71にて集光され、空間光変調デバイスである液晶パネル72に均一光強度分布で照明される。液晶パネル72に照射されたレーザ光は、前記液晶パネル72で任意の強度分布を持つレーザ光L3に変調され、投影レンズ81によりスクリーン82上に拡大投影される。

[0160] このように本実施の形態8の2次元画像形成装置300では、レーザ光源170を構成する光学素子40を、立体的に重ねて配置した複数の導波管と、これらの導波管を直列に光学的に接続する光路結合部とを有するものとしたので、入射されたレーザ光を均一な断面光強度分布を有する出射光に変換でき、且つ光伝搬方向の寸法が小さい光学素子を得ることができ、これにより、小型で100インチサイズクラスの投影が可能な、例えばレーザプロジェクタのような拡大投影2次元画像形成装置を実現できる。

[0161] なお、前記実施の形態7及び8では、前記レーザ光源は、図7に示す前記実施の形態4のレーザ光源140と同一のものであるが、このレーザ光源は、図8に示す前記実

施の形態5のレーザ光源150、あるいは図9に示す前記実施の形態6のレーザ光源160と同一のものでよい。

[0162] また、前記実施の形態7及び8では、前記レーザ光源を構成する光学素子は、前記実施の形態1のものと同一であるが、このレーザ光源を構成する光学素子は、図4(a)、図4(b)、図4(c)、図4(d)、図5、あるいは図6のいずれかに示すものと同一のものであってもよい。

[0163] また、前記実施の形態8では、2次元画像形成装置300は単一のレーザ光源を有するものであるが、2次元画像形成装置は、赤、青、緑の各色に対応するレーザ光源を有するものであってもよい。この場合、例えば、各色に対応するレーザ光源は、これを構成する半導体レーザの波長を、赤、青、緑の各色に対応する波長に選び、それぞれのレーザ光源を構成する光学素子を、前記実施の形態1ないし3で示した光学素子と同様、立体的に重ねて配置した複数の導波管と、これらの導波管を直列に光学的に接続する光路結合部とを有する構成とすることにより、小型で、且つ出射光の断面光強度分布が均一化されたレーザ光源を有するフルカラーの2次元画像形成装置を実現することができる。

[0164] また、前記実施の形態7あるいは8で説明した照明装置は、レーザ光源を構成する半導体レーザとして、紫外光波長域の半導体レーザを用いることにより、高出力かつ均一照明が必要な半導体露光装置等への応用も可能である。

産業上の利用可能性

[0165] 本発明は、均一な光強度分布を有するレーザ光を得るコンパクトな光学素子、または半導体レーザと前記光学素子を一体化した、出射光の断面光強度分布を均一化したレーザ光源を実現したものであり、高出力照明やレーザアシスト加工などに適用可能であり、また、テレビ受像機、映像プロジェクタなどの画像表示装置や、半導体露光装置などの画像形成装置にも適用可能である。

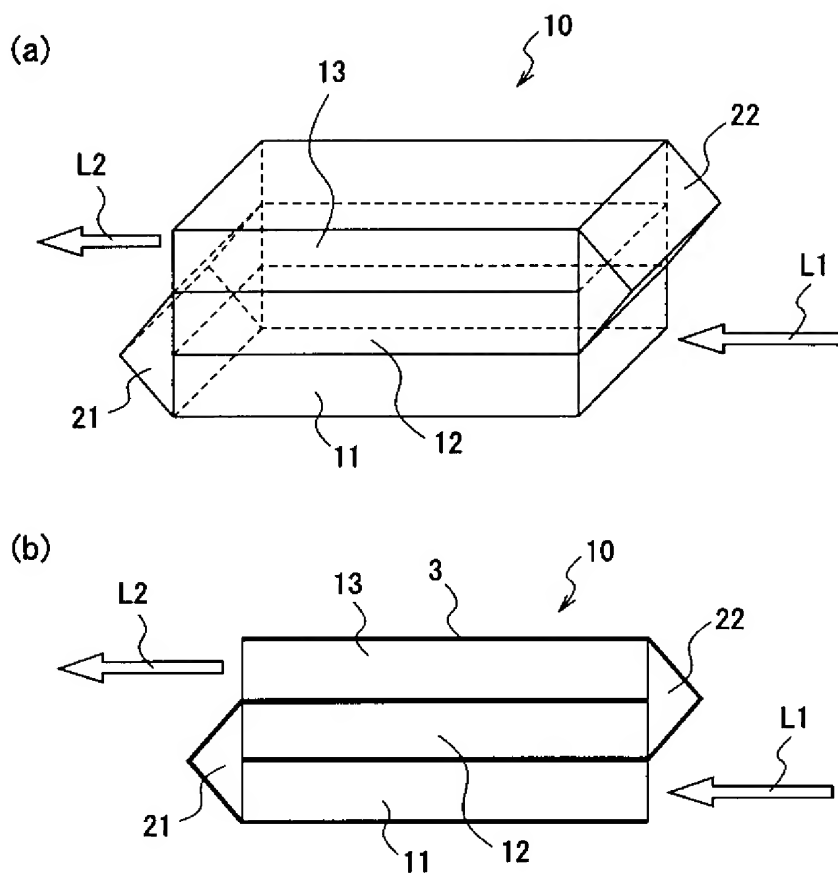
請求の範囲

- [1] 光を伝搬する複数の導波管と、
前記複数の導波管を直列に光学的に結合するよう、隣接する導波管を結合する複数の光路結合部とを具備し、
前記複数の導波管内を伝搬する光の経路は、前記光路結合部の少なくとも一つにおいて折れ曲がっている、
ことを特徴とする光学素子。
- [2] 請求項1に記載の光学素子において、
前記複数の導波管として奇数個の導波管を用い、
前記奇数個の導波管は、各導波管の光の伝搬方向に対して平行に重ねて配置されている、
ことを特徴とする光学素子。
- [3] 請求項1に記載の光学素子において、
前記導波管及び光路結合部からなる導波路の、光入射面及び光出射面以外の外表面が、伝搬する光を反射する反射膜によりコートされている、
ことを特徴とする光学素子。
- [4] 請求項1に記載の光学素子において、
前記光路結合部は、前記隣接する導波管の一方あるいは双方の端面に、光伝搬方向と垂直な平面に対して傾斜した傾斜面を、前記導波管と一体に形成してなるものである、
ことを特徴とする光学素子。
- [5] 請求項1に記載の光学素子において、
前記導波管は、中空構造を有し、該導波管の中空部分に、気体または液体のいずれかとブラウン粒子とを封入したものである、
ことを特徴とする光学素子。
- [6] 請求項5に記載の光学素子において、
前記ブラウン粒子がコロイド粒子である、
ことを特徴とする光学素子。

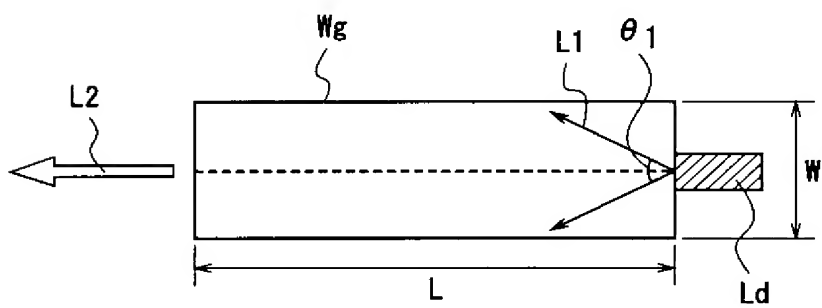
- [7] 請求項1に記載の光学素子において、
前記導波管の光入射端面から光出射端面までの、光伝搬経路に沿った距離Lは、
以下の関係式(1)を満たす、
ことを特徴とする光学素子。
- $$L \geq W / \tan(\sin^{-1}(\sin(\theta/2)/n)) \cdots (1)$$
- W:前記導波管の幅
n:前記導波管内部の屈折率
 θ :前記半導体レーザの有する最小のビーム広がり角
- [8] 半導体レーザと、該半導体レーザから出射されたレーザ光を伝搬して出射する光学素子とを具備するレーザ光源において、
前記光学素子は、
光を伝搬する複数の導波管と、
前記複数の導波管を直列に光学的に結合するよう、隣接する導波管を結合する複数の光路結合部とを具備し、
前記複数の導波管内を伝搬する光の経路は、前記光路結合部において折れ曲がっている、
ことを特徴とするレーザ光源。
- [9] 請求項8に記載のレーザ光源において、
前記半導体レーザと前記光学素子との間の光路上に配置され、前記光学素子に入射するレーザ光の広がり角を、前記半導体レーザから出射されるレーザ光の広がり角より小さくする凸レンズ、もしくは平凸レンズを具備する、
ことを特徴とするレーザ光源。
- [10] 請求項8に記載のレーザ光源において、
前記半導体レーザと前記光学素子との間の光路上にシリンダリカルレンズを配置する、
ことを特徴とするレーザ光源。
- [11] 請求項10に記載のレーザ光源において、
前記シリンダリカルレンズが、平凹レンズである、

- ことを特徴とするレーザ光源。
- [12] 請求項8に記載のレーザ光源において、
前記光学素子の光入射端面は、曲率を有する湾曲した形状となっている、
ことを特徴とするレーザ光源。
- [13] レーザ光を出射するレーザ光源と、該レーザ光源から出射されたレーザ光を変調する空間光変調部と、前記レーザ光源から出射されたレーザ光を前記空間光変調部に照明する照明光学系とを有する2次元画像形成装置において、
前記レーザ光源は、半導体レーザと、該半導体レーザから出射されたレーザ光を伝搬して出射する光学素子とを有し、
前記光学素子は、
光を伝搬する複数の導波管と、
前記複数の導波管を直列に光学的に結合するよう、隣接する導波管を結合する複数の光路結合部とを具備し、
前記複数の導波管内を伝搬する光の経路は、前記光路結合部において折れ曲がっている、
ことを特徴とする2次元画像形成装置。
- [14] 請求項13に記載の2次元画像形成装置において、
前記空間光変調部から出射されるレーザ光を投射する投射光学系を具備した、
ことを特徴とする2次元画像形成装置。

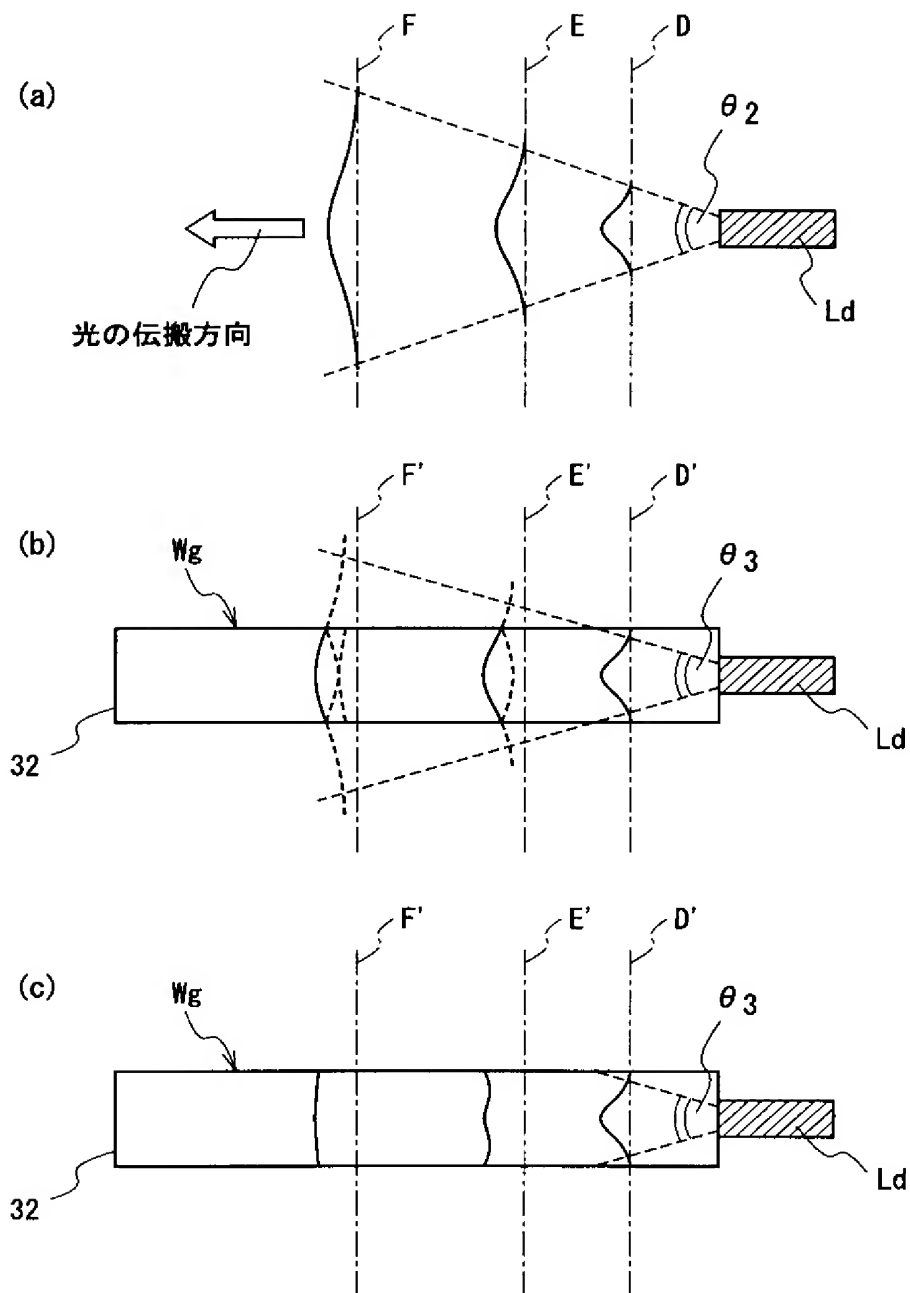
[図1]



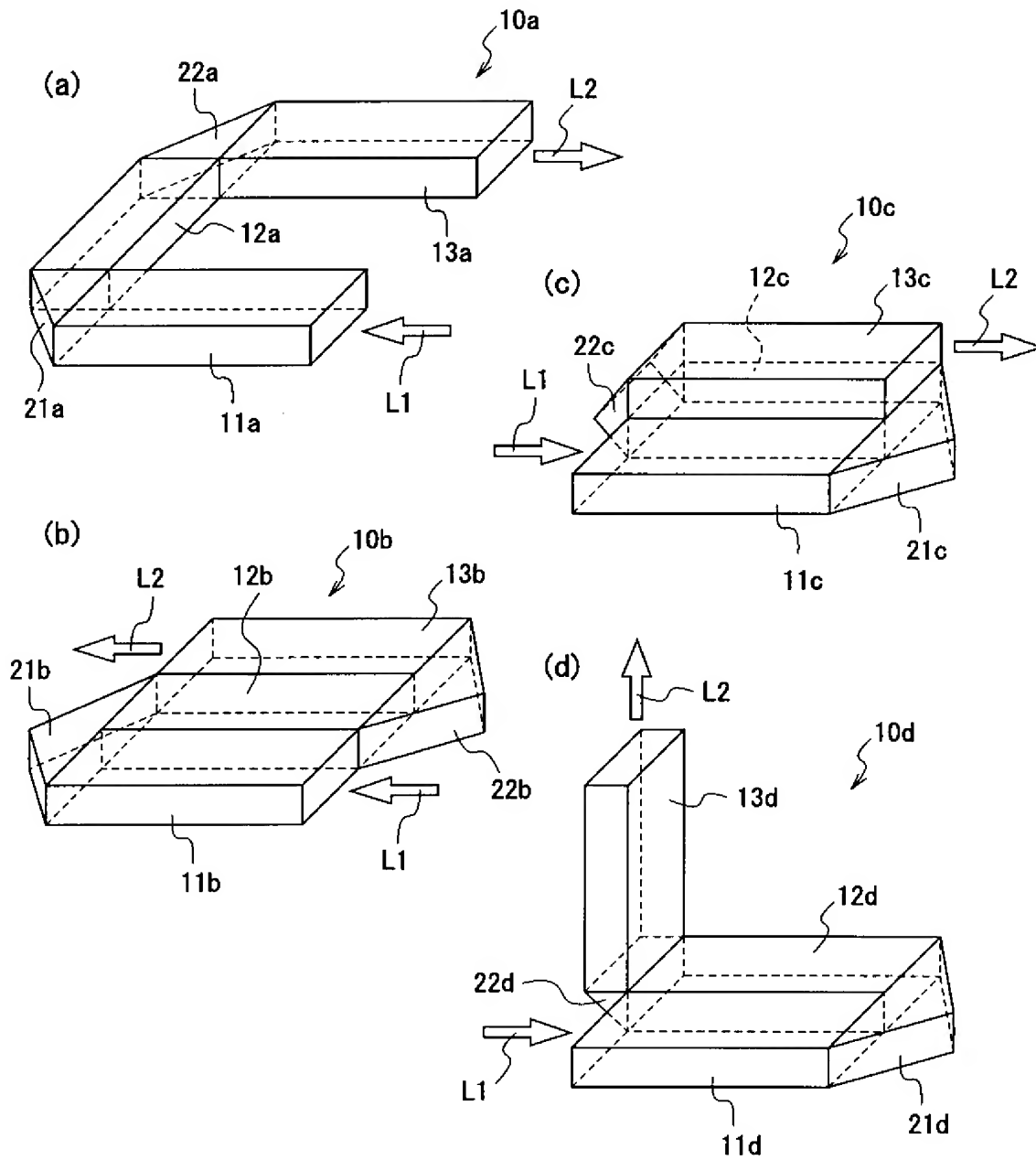
[図2]



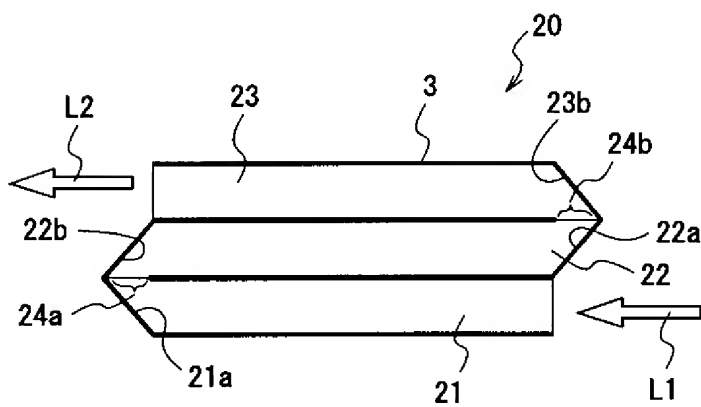
[図3]



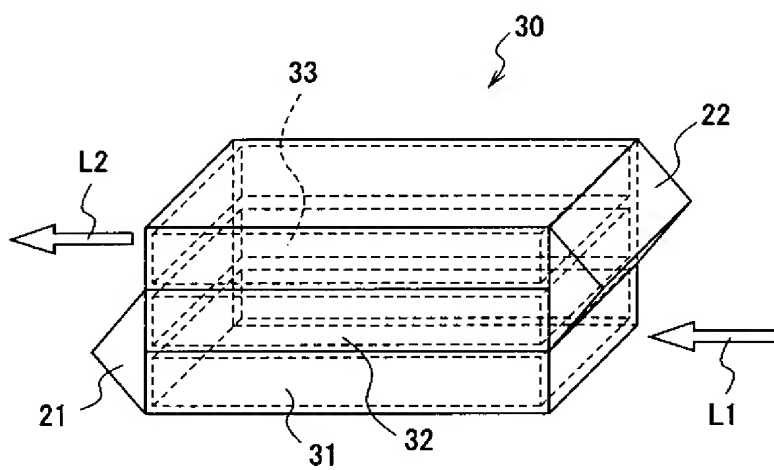
[[図4]]



[[図5]]

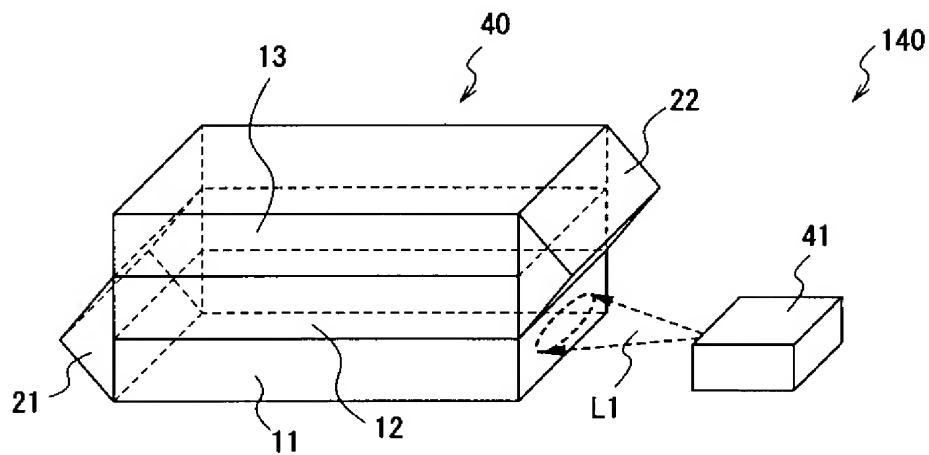


[[6]]

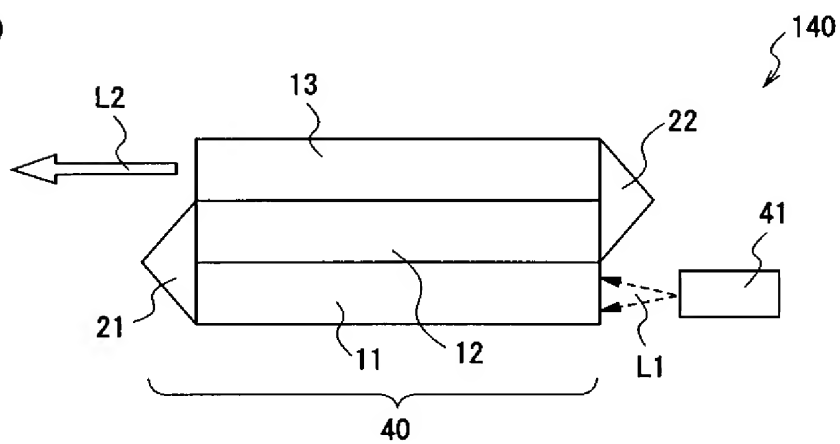


[[7]]

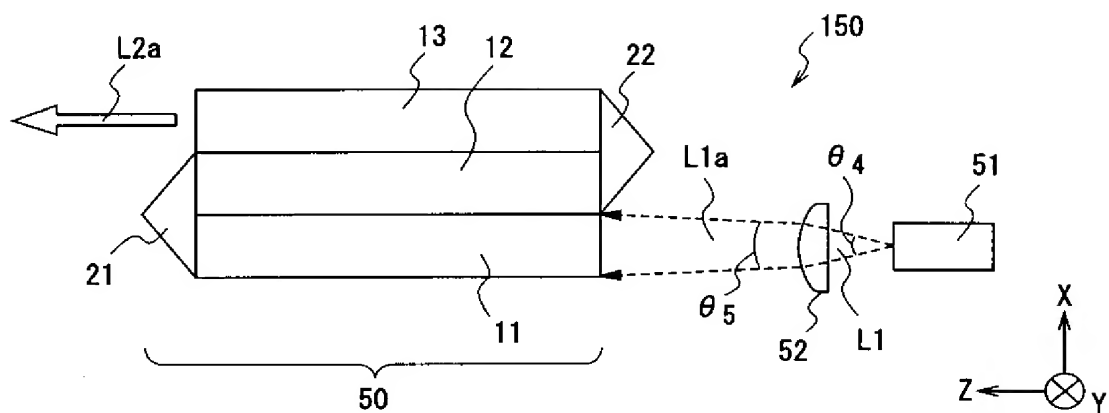
(a)



(b)

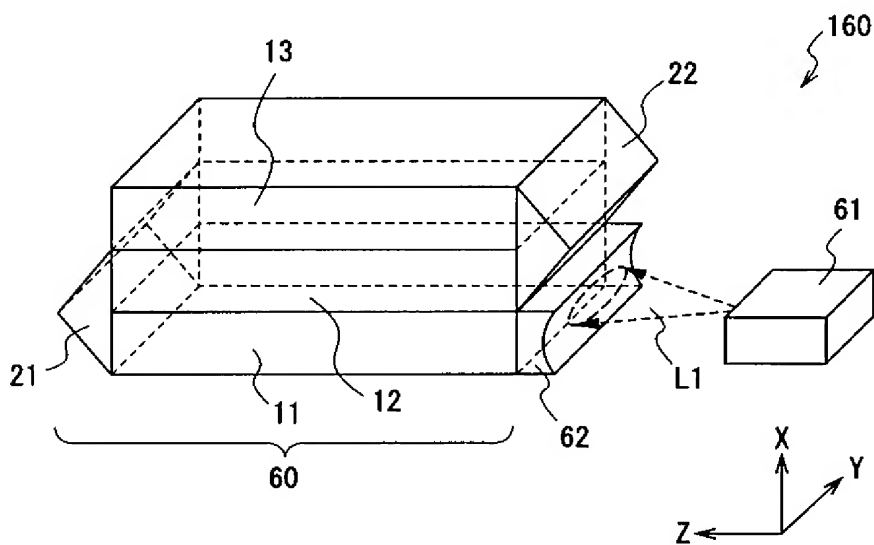


[[図8]]

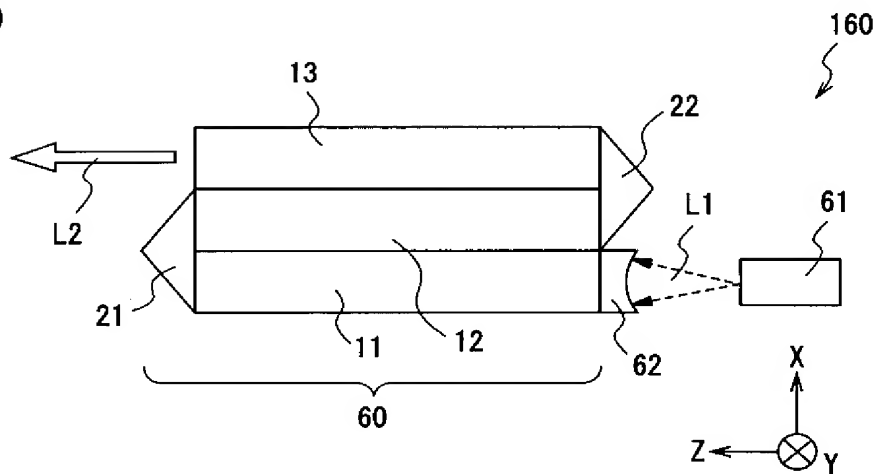


[[図9]]

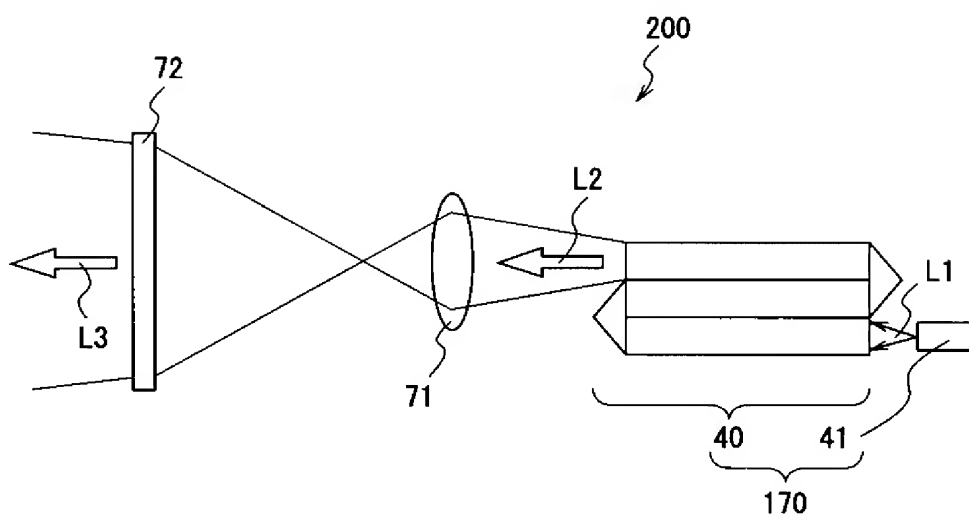
(a)



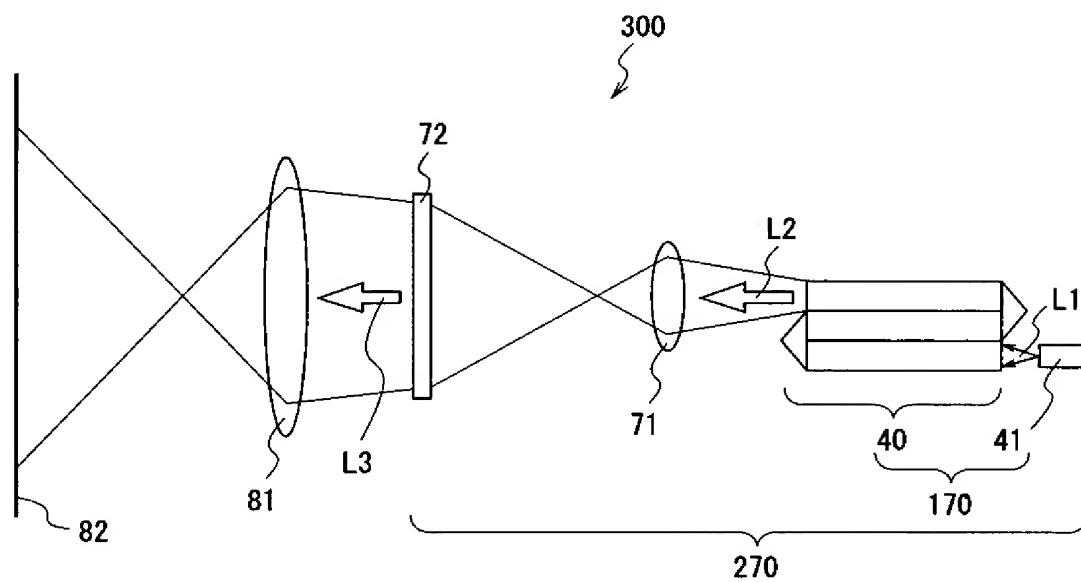
(b)



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018361

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B27/00, G03B21/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B27/00, G03B21/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 8-111107 A (Fujitsu Ltd.), 30 April, 1996 (30.04.96), Par. Nos. [0038] to [0064]; Figs. 5 to 9 (Family: none)	1-4, 8, 13, 14 5-7, 9-12
Y	JP 59-180519 A (Hitachi, Ltd.), 13 October, 1984 (13.10.84), Page 3, upper right column, line 15 to lower left column, line 15 (Family: none)	5, 6
Y	JP 6-51236 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 25 February, 1994 (25.02.94), Par. Nos. [0010] to [0014]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	7, 12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 January, 2005 (18.01.05)

Date of mailing of the international search report
01 February, 2005 (01.02.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/018361

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-268000 A (Ricoh Co., Ltd.), 18 September, 2002 (18.09.02), Par. Nos. [0018] to [0024]; Fig. 1 (Family: none)	9, 10
Y	JP 58-48013 A (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.), 19 March, 1983 (19.03.83), Page 4, lower right column, lines 10 to 18; Figs. 1(c), 3, 4 (Family: none)	11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B27/00, G03B21/14

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B27/00, G03B21/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 8-111107 A (富士通株式会社) 1996. 04. 30, 第38-64段落, 図5-9 (ファミリーなし)	1-4, 8, 13, 14 5-7, 9-12
Y	J P 59-180519 A (株式会社日立製作所) 1984. 10. 13, 第3頁右上欄第15行-左下欄第15行, 第8図 (ファミリーなし)	5, 6
Y	J P 6-51236 A (松下電器産業株式会社) 1994. 02. 25, 第10-14段落, 図1-4 (ファミリーなし)	7, 12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 01. 2005

国際調査報告の発送日

01. 2. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

三橋 健二

2 X

9412

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2002-268000 A (株式会社リコー) 2002. 09. 18, 第18-24段落, 図1 (ファミリーなし)	9, 10
Y	J P 58-48013 A (東京芝浦電気株式会社) 1983. 03. 19, 第4頁右下欄第10-18行, 第1図(c), 第3, 4図 (ファミリーなし)	11